

УДК 621.311

## ИССЛЕДОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ РАБОТЫ СИСТЕМЫ КОМПЕНСАЦИИ ДАВЛЕНИЯ ПРИ ПЕРЕХОДНЫХ РЕЖИМАХ ЭКСПЛУАТАЦИИ РЕАКТОРНОЙ УСТАНОВКИ ТИПА ВВЭР-1000

Лешок В.И.

Научный руководитель – к.т.н., доцент Чиж В.А.

Система компенсации давления предназначена для компенсации объема теплоносителя при температурном расширении, для создания и поддержания давления в первом контуре в заданном интервале, для ограничения отклонений давления в аварийных или переходных режимах, а также для защиты первого контура от превышения давления.

Система компенсации давления выполняет следующие задачи безопасности:

- защита оборудования первого контура от превышения установленного давления;
- отвод остаточных тепловыделений от активной зоны через импульсно-предохранительные устройства компенсатора давления;
- прием и конденсация парогазовой смеси из системы аварийного парогазоудаления.

Система компенсации давления выполняет следующие задачи нормальной эксплуатации:

- компенсация объема теплоносителя при температурных расширениях первого контура;
- плавная компенсация небольших возмущений давления первого контура;
- создание давления в первом контуре в период пуска реакторной установки;
- снижение давления в первом контуре при расхолаживании реакторной установки;
- компенсация возмущений давления первого контура в переходных процессах реактора;
- сбор и конденсация протечек через импульсно-предохранительные устройства компенсатора давления в режиме нормальной эксплуатации;
- прием и конденсация пара, сбрасываемого при срабатывании импульсно-предохранительных устройств компенсатора давления.

Система компенсации давления сохраняет работоспособность при всех проектных нарушениях условий нормальной эксплуатации и проектных аварийных ситуациях, за исключением некомпенсируемых течей первого контура, течей из первого контура во второй и ложного впрыска в компенсатор давления из системы подпитки при температуре воды  $60 \div 70$  °С.

Система компенсации давления является составной частью реакторной установки.

Основной узел системы – компенсатор давления. В состав системы также входят барботажный бак, импульсно-предохранительные устройства, трубопроводы и арматуры.

Барботажный бак обеспечивает прием пара из компенсатора давления без разрыва предохранительной мембраны в режимах нормальной эксплуатации и в режимах с нарушением нормальных условий эксплуатации реакторной установки. Импульсно-предохранительные устройства предназначены для защиты первого контура от превышения давления.

Соотношение водяного и парового объемов компенсатора выбрано из условия, что ни в одном из проектных режимов, за исключением режимов аварийного разуплотнения первого и второго контуров, не происходит заброса пара в первый контур из компенсатора давления и оголения его электронагревателей (ТЭН).

Мощность ТЭН обеспечивает проектную скорость разогрева в период пуска реакторной установки и поддержание давления во время работы на мощности.

На рисунке 1 представлена функциональная схема системы компенсации давления первого контура.

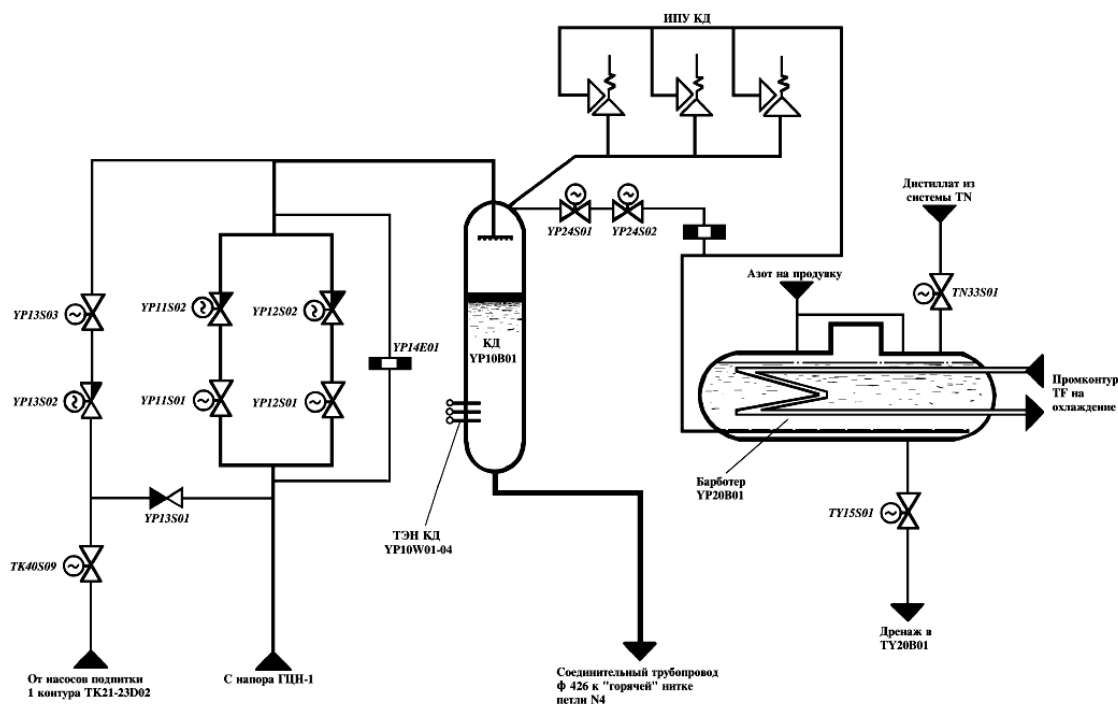


Рисунок 1 – Функциональная схема системы компенсации давления первого контура

Компенсатор давления соединен с «горячей» ниткой четвертой петли главного циркуляционного контура трубопроводом, называемым «дыхательным» и через который осуществляется переток теплоносителя из первого контура в компенсатор давления и обратно, и нормально заполнен теплоносителем и паром. Только в режимах разогрева и расхолаживания поддержание давления осуществляется за счет создания в компенсаторе давления азотной подушки. В верхнее днище компенсатора давления врезан трубопровод «холодного» впрыска, соединяющий напорный трубопровод главного циркуляционного насоса первой петли с верхним парогазовым объемом компенсатора. В этот трубопровод врезана линия впрыска от напорного коллектора системы подпитки-продувки первого контура, которая используется для расхолаживания компенсатора при отключенных главных циркуляционных насосах.

При небольших изменениях давления в первом контуре работает принцип самокомпенсации. При дальнейшем отклонении параметров в работу включаются технические элементы, ограничивающие и восстанавливающие параметры реакторной установки.

Принцип самокомпенсации заключается в следующем. При изменении нагрузки реактора в первом контуре изменяется средняя температура и, вследствие этого, объем теплоносителя. Изменения объема воспринимаются компенсатором давления, который или подает теплоноситель в контур, или принимает его из контура по «дыхательному» трубопроводу. При этом ограничение отклонений давления от номинального значения достигается за счет сжатия или расширения паровой подушки в компенсаторе давления. При расширении пара (уменьшении давления) среда в компенсаторе давления испаряется, способствуя, тем самым, поддержанию давления, а при сжатии паровой фазы (увеличении давления) происходит ее конденсация на поверхности среды, что ограничивает рост давления.

При достижении предельных значений уровня или давления вырабатываются импульсы на устройства управления и регулирования, которые производят действия, направленные на ограничение отклонений давления и уровня.

При повышении температуры в первом контуре в компенсатор давления поступает теплоноситель, что приводит к росту давления. Вследствие этого происходит отключение групп ТЭН. Если давление продолжает повышаться и после отключения ТЭН, то

открывается нормально закрытая арматура на линии впрыска и по линии впрыска подается теплоноситель с напорной главного циркуляционного насоса первой петли для конденсации пара в паровой подушке.

При понижении температуры объем теплоносителя в контуре уменьшается, что вызывает его вытекание из компенсатора. Паровая «подушка» увеличивается, и давление падает. Так как теплоноситель в компенсаторе давления находится при температуре насыщения, то падение давления приводит к его вскипанию, что уменьшает падение давления. При уменьшении давления включаются дополнительные группы ТЭН, которые при восстановлении давления последовательно отключаются.

С помощью компьютерной модели реакторной установки ВВЭР-1000 было исследовано поведение (изменение параметров) системы компенсации давления при изменении мощности реакторной установки с 100 % до 90 % от номинальной тепловой мощности. На рисунке 2 представлено исходное состояние реакторной установки.

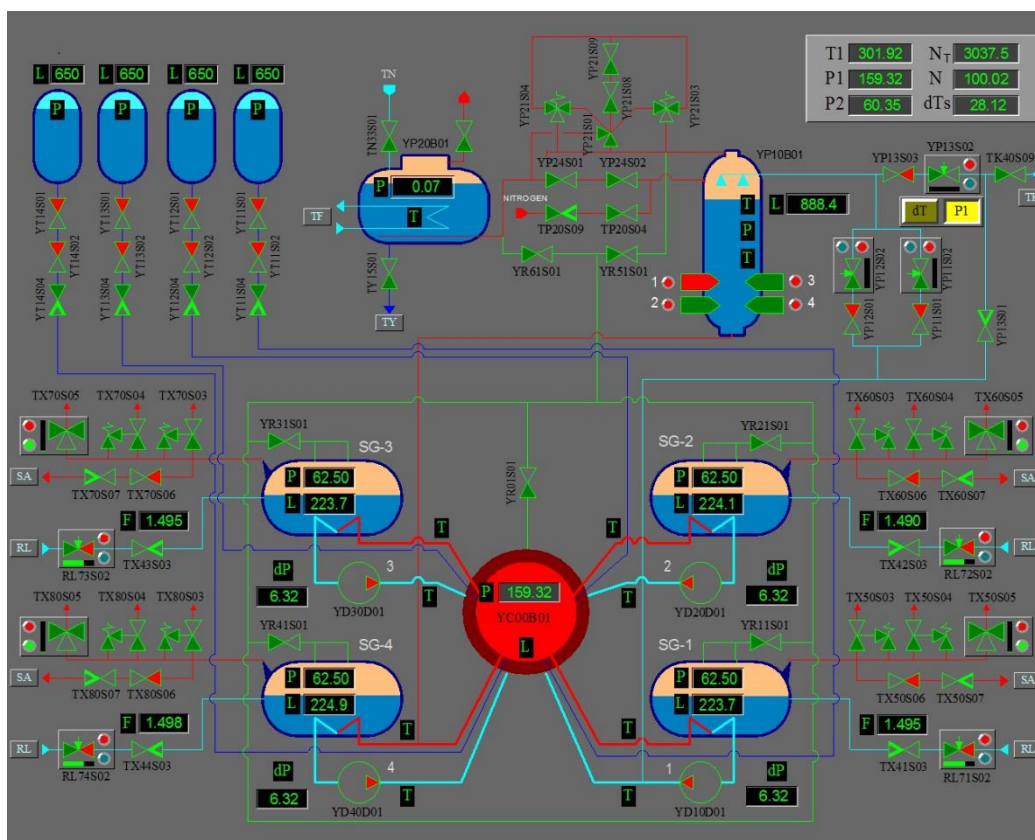


Рисунок 2 – Исходное состояние реакторной установки

В начальном состоянии при мощности 100 % уровень теплоносителя в компенсаторе давления составлял 8884 мм, давление в первом контуре – 159,32 кгс/см<sup>2</sup>, давление пара во втором контуре – 60,35 кгс/см<sup>2</sup>, температура теплоносителя первого контура на входе в реактор – 301,92 °С. При этом в режиме поддержания давления находилась первая группа ТЭН компенсатора (и периодически вторая), необходимая для компенсации тепловых потерь и подогрева среды, поступающей по байпасу трубопроводов впрыска и используемой для их прогрева, а также для перемешивания среды с целью выравнивания концентрации борной кислоты и химических реагентов в первом контуре и компенсаторе давления.

При достижении мощности 90 % параметры реакторной установки изменились, что и показано на рисунке 3.

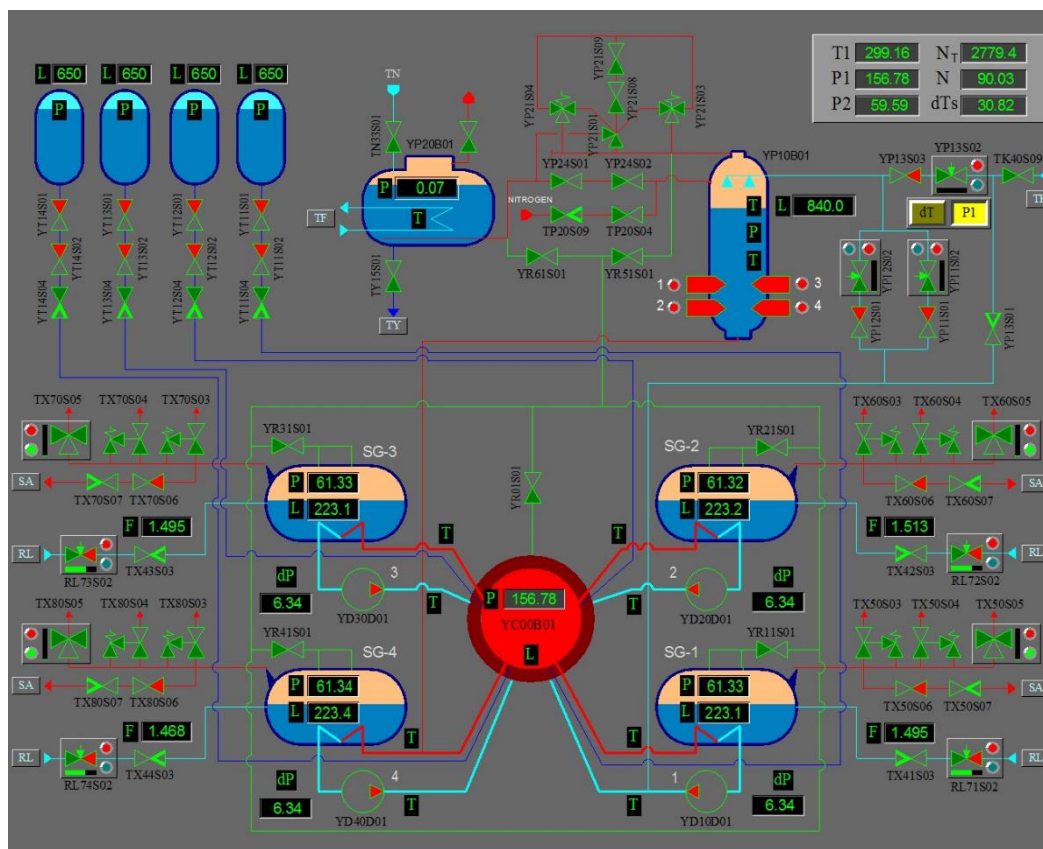


Рисунок 3 – Состояние реакторной установки при достижении 90 % мощности

В этом состоянии уровень теплоносителя в компенсаторе давления составил 8400 мм, давление в первом контуре – 156,78 кгс/см<sup>2</sup>, давление пара во втором контуре – 59,59 кгс/см<sup>2</sup>, температура теплоносителя первого контура на входе в реактор – 299,16 °С.

При снижении мощности реакторной установки температура теплоносителя уменьшилась, что привело к увеличению плотности теплоносителя и уменьшению его удельного объема. Объем водяной фазы в компенсаторе уменьшился, паровой – увеличился. В результате произошло уменьшение давления в первом контуре и уменьшение температуры насыщения. Так как теплоноситель в компенсаторе давления имеет температуру несколько выше температуры насыщения при давлении 156,78 кгс/см<sup>2</sup>, теплоноситель в компенсаторе вскипает. Однако скорость парообразования в этом случае не позволяет скомпенсировать столь большое уменьшение давления. Далее включились все четыре группы ТЭН компенсатора и давление в контуре начало подниматься, достигнув в конечном итоге номинального давления первого контура.

Таким образом, система компенсации давления позволила восстановить давление в первом контуре до номинального и обеспечить условия для надежной и безопасной эксплуатации реакторной установки.

#### Литература

1. Моргунова Т.Х. Атомные электрические станции: Учебник для вузов.—3-е изд., перераб. и доп.—М.: Высш. школа, 1978.—360 с.: ил.
2. Тепловые и атомные электрические станции: Справочник /Под общ. ред. В.А. Григорьева, В.М. Зорина. – 2-е изд., перераб. – М.: Энергоатомиздат, 1989. – 608 с.: ил.
3. Тевлин С.А. Атомные электрические станции с реакторами ВВЭР-1000: Учебное пособие для студентов вузов. – М.: Издательство МЭИ, 2002. – 344 с.: ил.